

---

# LHC dopo il bosone di Higgs

**Edoardo Gorini**

*Dipartimento di Matematica e Fisica "Ennio De Giorgi" - Università del Salento;  
INFN - Sezione di Lecce.*

---

**L**a scoperta del bosone di Higgs non esaurisce le ricerche pianificate all'acceleratore LHC. Ad esempio, la ricerca di particelle supersimmetriche è una delle attività più importanti a cui si dedicherà LHC nel prossimo futuro.

Il Large Hadron Collider (LHC), insieme agli esperimenti che vi operano (ATLAS, CMS, ALICE e LHCb), è una delle più grandi imprese scientifiche mai realizzate dall'uomo. Uno dei motivi principali per cui i fisici delle particelle l'hanno ideato, progettato e costruito è stato quello di risolvere l'enigma dell'origine delle masse di tutte le particelle elementari, ossia cercare il famoso Bosone di Higgs. Il 4 luglio del 2012 i fisici di ATLAS, insieme a quelli di CMS, hanno annunciato al mondo di aver scoperto l'esistenza di una particella che gli somiglia (un bosone) e che ha una massa di 125 GeV circa, più di 130 volte la massa di un protone. Dopo alcuni mesi da quella data sappiamo che quasi sicuramente questa particella ha spin 0 e parità positiva, quindi è quello che stavamo cercando, cioè una particella cosiddetta scalare. L'abbiamo identificata in diversi modi di decadimento e ne abbiamo misurato, seppur con scarsa precisione, l'intensità di produzione e le probabilità di decadimento. A questo punto possiamo dire con certezza che essa è proprio il Bosone di Higgs cercato, che completa finalmente lo zoo delle particelle elemen-

tari previste dal Modello Standard di Glashow-Weinberg-Salam. Allora abbiamo finito? Poiché l'anello mancante del Modello Standard è stato trovato, non c'è più niente da capire? Possiamo considerarci soddisfatti così? No! Perché in realtà anche il Modello Standard delle particelle elementari probabilmente fornisce solo una interpretazione approssimativa di come davvero è fatto l'universo.

In questi ultimi 50 anni abbiamo studiato con grande accuratezza tanti fenomeni previsti dal Modello Standard e di cui esso ci ha predetto con elevatissima precisione il valore delle grandezze rilevanti. Ma non abbiamo in realtà capito perché il mondo è fatto proprio così. Il Modello Standard ha alcuni difetti. Il primo è che non ci dice quali sono le masse delle diverse particelle; possiamo conoscere queste masse solo misurandole in esperimenti adatti e non abbiamo comunque nessuna spiegazione del perché abbiamo, per esempio, masse di diversi ordini di grandezza differenti tra loro: il muone pesa 200 volte più dell'elettrone ed il leptone tau 3400 volte di più! Le masse dei quark variano fra le poche centinaia di MeV dei quark up/down fino agli oltre 170 GeV del quark top. Ognuna delle masse di queste particelle entra nel modello come parametro libero e quindi sconosciuto a priori.

Non abbiamo alcuna idea del perché ci siano tante famiglie di particelle: l'elettrone, il neutrino dell'elettrone, il quark up ed il down formano

la prima famiglia. Basterebbe solo questa famiglia ed il modello funzionerebbe lo stesso. Perché ci sono tre famiglie (sappiamo che sono tre dalle misure effettuate negli anni '90 con l'acceleratore LEP, il precursore dell'LHC)? E perché proprio tre e non due, cinque o quarantaquattro?

Perché c'è più materia che antimateria nell'universo? Per ogni particella noi sappiamo che esiste un'antiparticella uguale in tutto ad essa tranne nell'aver alcuni numeri quantici (come la carica elettrica) opposti. Le nostre equazioni ci dicono inoltre che c'è simmetria fra materia e antimateria e che al momento del Big Bang sono state prodotte quantità uguali di materia ed antimateria nell'universo. E allora perché dobbiamo andare a cercare l'antimateria col lumicino nell'universo e noi siamo fatti solo di materia? E ancora: visto che se si fa incontrare la materia con l'antimateria si ottengono lampi di luce, cioè dei fotoni, potremmo ipotizzare che materia e antimateria si siano annichilate tanto tempo fa, per cui dovremmo avere ora un universo fatto solo di luce. Perché non è così?

E infine: cosa sono le particelle di materia oscura che gli astrofisici ci dicono che debbono esistere perché ne vedono gli effetti a larga scala nelle galassie ed in generale nell'universo? Noi non siamo ancora riusciti a trovare e misurare questa materia oscura, neanche nei più sofisticati esperimenti finora progettati. Sappiamo che solo un quarto dell'universo è fatto di materia e solo un quinto della materia è fatto di quark e leptoni, mentre non sappiamo niente del resto.

Dunque non abbiamo proprio la minima idea di come dare risposta a questi interrogativi? No! In realtà c'è un mucchio di idee sul perché succedano tutte queste cose. I fisici teorici negli ultimi 50 anni hanno infatti partorito un gran numero di teorie che potrebbero spiegare alcune o tutte queste cose. Il compito degli sperimentali, come il sottoscritto, è quello di verificare quale di queste eleganti, complicate e spesso astruse teorie possa rappresentare davvero il mondo in cui viviamo e spiegarci tutto quello che il Modello Standard non spiega.

Fra le teorie più accreditate da gran parte dei fisici teorici di tutto il mondo c'è la Supersimmetria, il cui nome viene spesso abbreviato in SUSY (SUperSYmmetry). La SUSY è una simmetria della natura che mette in relazione due tipi

di particelle: i fermioni, a spin semintero, ed i bosoni, a spin intero<sup>1</sup>.

Una conseguenza di questa teoria, e quella più evidente, è che ogni tipo di particella che conosciamo ha uno o più superpartner che condividono tutte le proprietà di questa tranne una: se la particella è un fermione il suo superpartner è un bosone, e viceversa. Poiché le particelle di materia (come i quark e l'elettrone) sono fermioni, mentre le particelle mediatrici delle forze (come il fotone, il  $W^\pm$  e lo  $Z^0$ ) sono bosoni, la SUSY unifica i due tipi di particelle, rendendo indistinguibile la materia dai mediatori delle forze.

Il nostro mondo è fatto sia di fermioni che di bosoni ma nessuno di loro è superpartner di una delle particelle conosciute. Il problema è che se la SUSY fosse una simmetria esatta in natura, noi avremmo già dovuto scoprire tutte le superparticelle (anche chiamate sparticelle) perché queste dovrebbero avere esattamente la stessa massa delle particelle elementari che conosciamo.

Quindi, avremmo identificato degli atomi formati da selettroni e sprotoni formati da squark. Questi superatomi si sarebbero comportati in modo molto, molto, differente dagli atomi che conosciamo, visto che gli spin dei loro costituenti sarebbero differenti, interi non semi-interi. Allora la chimica sarebbe stata completamente diversa da quella che conosciamo. Poiché così non è, possiamo dire che la simmetria è "nascosta" o "rotta" e, almeno alle energie a noi accessibili, non è una simmetria "esatta" della natura.

Quello che si può ipotizzare, e la matematica lo conferma, è che ci sia qualche meccanismo attraverso il quale le sparticelle acquistano una massa molto più grande delle particelle standard, e che noi non siamo ancora riusciti ad osservarle perché non abbiamo la tecnologia per arrivare a produrre collisioni che forniscano l'energia sufficiente a crearle abbastanza frequentemente nei nostri esperimenti. La scala di energie a cui ci si aspetta di trovare le sparticelle è intorno al TeV, che è proprio l'energia che hanno i costituenti dei protoni accelerati ad LHC. Se questo è vero,

<sup>1</sup>Tutte le moderne teorie quantistiche di campo sono formulate in modo che le equazioni che le descrivono siano simmetriche rispetto ad una serie di trasformazioni delle coordinate e dei campi. Un esempio è la simmetria per il cambio di segno delle coordinate spaziali (simmetria di parità).

significa che ci aspettiamo di osservarle a breve con i nostri grandi apparati come ATLAS e CMS!

Il problema è che i meccanismi ed i parametri liberi di questa teoria sono ancora largamente sconosciuti e solamente ipotizzati, per cui la ricerca di questa fisica è estremamente complessa perché dobbiamo, in sostanza, cercare a tappeto in uno spazio di parametri estremamente grande. Inoltre la probabilità di produrre sparticelle è estremamente piccola e lo diventa sempre di più quanto maggiore è la loro massa.

Le motivazioni per avere fiducia in modelli di tipo SUSY è che questi risolverebbero alcuni, se non tutti, i problemi insiti nel Modello Standard così com'è. La Supersimmetria spiegherebbe il mistero delle masse delle particelle, fornirebbe dei validissimi candidati per la materia oscura, unificherebbe tre delle forze fondamentali della natura (elettromagnetica, debole e forte) e risolverebbe quello che viene chiamato problema della gerarchia, cioè l'enorme differenza (16 ordini di grandezza) nella scala di massa delle forze elettrodeboli (la massa dei bosoni  $W^\pm$  e  $Z^0$ ) e nucleari, e quella della forza gravitazionale (massa di Planck).

A LHC stiamo cercando incessantemente di verificare l'esistenza di particelle supersimmetriche attraverso analisi che sono basate su alcune particolari tipologie di eventi. Una di queste è la presenza di uno sbilanciamento di energia. Questo è il classico segnale lasciato da eventi in cui sono state prodotte particelle neutre che interagiscono molto debolmente con la materia, come ad esempio i neutrini, ed è, in particolare, il metodo con cui i neutrini sono stati scoperti. Se fosse verificata una legge di conservazione di una quantità detta R-Parità, che richiede la produzione associata di sparticelle ed antiparticelle, allora ci dovrebbero essere, nello stato finale di decadimento, delle sparticelle neutre più o meno pesanti che contribuirebbero allo sbilanciamento di energia da noi osservato. Queste particelle (anche denominate Lightest Supersymmetric Particles, LSP) sarebbero le migliori candidate per spiegare l'origine della materia oscura.

In ATLAS (e CMS) si cercano eventi in cui ci sia molta energia mancante, nei quali siano prodotti tanti getti energetici di particelle, generati dai quark prodotti dalle collisioni, e nei quali, spesso, ci sia anche la presenza di particelle leggere come

elettroni e muoni. Queste caratteristiche ci aiutano a selezionare questi rari eventi dal gigantesco fondo di eventi prodotti nell'interazione dei protoni. Dopo più di due anni di presa dati siamo riusciti soltanto ad escludere alcune delle regioni dello spazio dei parametri ipotizzati dalla SUSY, ma la strada è ancora lunga e la Supersimmetria potrebbe essere ancora dietro l'angolo.

Il Large Hadron Collider è dunque lo strumento che potrebbe dare, attraverso le scoperte che ci aspettiamo ancora di fare, una risposta per la costruzione di una nuova teoria che ci consenta di rispondere a queste domande. Già nel 2015 ricominceremo a prendere dati quasi all'energia di progetto di LHC (13 invece di 14 TeV) e forse riusciremo a scoprire finalmente qualche sparticella o, perché no, potremmo invece capire che qualche altra teoria, come quella della esistenza di altre dimensioni oltre quelle conosciute, è proprio quella giusta per svelare i misteri della natura che ancora ci sono ignoti.



**Edoardo Gorini:** è nato a Napoli dove si è laureato in Fisica ed ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Fisica nel 1988. È Professore Associato di Fisica Sperimentale dal 1999 all'Università del Salento dove insegna Fisica ai Collisori, Analisi Statistica dei Dati e Laboratorio V. Svolge la sua attività di ricerca nell'ambito della Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari agli Acceleratori con il Gruppo I dell'INFN. Ha partecipato a diversi esperimenti di Fisica delle Alte Energie (NA10, CHARM II e ATLAS al CERN di Ginevra, E771 al Fermilab di Chicago, KLOE ai LNF di Frascati) e a diversi Test Beams al CERN. È attualmente il responsabile per Lecce dell'esperimento ATLAS all'acceleratore LHC del CERN. È coautore di più di 350 pubblicazioni su riviste internazionali.

